

Denisa CIHLÁŘOVÁ¹, Tomáš SEIDLER²

ANALÝZA DYNAMICKÉHO PRŮJEZDU OKRUŽNÍ KŘÍŽOVATKOU

ANALYSIS OF DYNAMIC TRANSIT THROUGH ROUNDABOUT

Abstrakt

Dynamický průjezd okružní křižovatkou je podle USA standardů jeden z parametrů, kterým se prokazuje správnost jejího návrhu. Dle českých předpisů stačí pouze návrh okružní křižovatky ověřit na prostorovou průjezdnost požadovaným návrhovým vozidlem. Ovšem otázkou zůstává, zda je pouze ověření prostorové průjezdnosti při stále zvyšujících se intenzitách provozu dostačující [1]. Tento článek se věnuje právě analýze dynamického průjezdu okružní křižovatkou. Řešena je rychlost průjezdu okružní křižovatkou v závislosti na poloměru v charakteristických bodech okružní křižovatky. Měření in situ probíhala na vybrané jednopruhové čtyřramenné okružní křižovatce. Cílem této práce je posoudit vybranou okružní křižovátku z hlediska dynamiky průjezdu a následně zjistit, jakou měrou odpovídá reálný dynamický průjezd teoretickému dynamickému průjezdu.

Klíčová slova

Okružní křižovatka, poloměr, rychlost průjezdu, geometrické parametry, návrh okružní křižovatky, dynamický průjezd.

Abstract

Dynamic transit through roundabout is according to U.S. standards one of the parameters used to prove the validity of roundabout design. Under Czech law is roundabout design verification based on possibility of transit through the roundabout of design vehicle. But the question is whether the only a verification is enough especially if traffic is increasing [1]. The article is devoted to the analysis of dynamic transit through roundabout. Article dealt with the velocity of transit through roundabout, depending on the radius of the characteristic roundabouts points. In situ measurements were made on selected one-lane, four-arm roundabout. The aim of this work is to evaluate selected roundabout in terms of the dynamics transit and then find out how much corresponds theoretical dynamic transit to the real one.

Keywords

Roundabout, radius, speed, geometric parameters, roundabout design, dynamic transit.

1 ÚVOD

Stále populární okružní křižovatky (OK) přispívají k vyšší bezpečnosti a plynulejšímu provozu na pozemních komunikacích. Návrh okružních křižovatek však nemá jednoznačný postup. Normy, technické podmínky a návrhové příručky různých států popisují různé postupy [1][3][4][5]

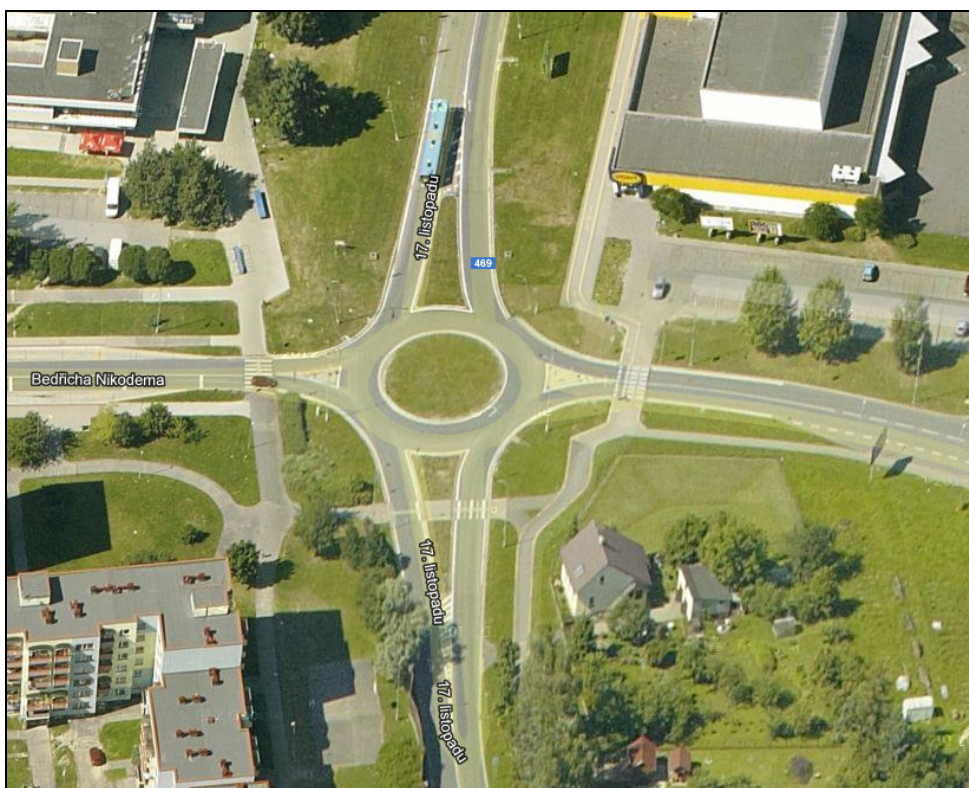
¹ Ing. Denisa Cihlářová, Ph.D., Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 981, e-mail: denisa.cihlarova@vsb.cz.

² Ing. Tomáš Seidler, Ph.D., Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 981, e-mail: tomas.seidler@vsb.cz.

[6][7]. Celosvětové studie se více méně zabývají analýzou nehodovosti v závislosti na geometrických prvcích OK [8][2]. Vzhledem k tomu, že s OK se nečastěji setkáváme právě v oblasti měst, není zanedbatelný i její vliv na šíření emisí v blízkosti OK [9]. Dále by měl být návrh OK přizpůsoben na pohyb chodců a cyklistů [10]. Tyto skupiny účastníků silničního provozu jsou více ohroženy z hlediska závažnosti zranění [11]. Je taktéž důležité zaručit pohodlný a bezpečný průjezd tzn., že návrh by měl být modelován na požadovaný výkon křižovatky např. pomocí krigování (interpolační metody, jež využívají geostacionární metody odhadu) [12]. Při respektování všech vstupujících faktorů by neměly být porušeny zásady předpokládající pomalý vjezd na OK a rychlý výjezd z OK dle „Bezpečnost a výkon“ [13]. Z výše uvedeného vyplývá, že funkční návrh OK je závislý na různých parametrech. Jejich vzájemná závislost je předmětem mnoha studií a výsledky by se měly promítnout do norem, technických podmínek či návrhových příruček.

2 ZÁJMOVÝ OBJEKT

Pro řešení byla vybrána jednopruhová čtyřramenná okružní křižovatka. Čtyřramenná byla zvolena z důvodů, že třiramenné jsou dle [10] považovány za rizikovější. Lze konstatovat, že velikostí i uspořádáním reprezentuje nejčastěji užívaný typ OK v ČR. OK se nachází na území města Ostravy, v městské části Pustkovec, na křížení místních komunikací ul. 17. Listopadu (silnice II/469) s ulicí Bedřicha Nikodéma. Vnější průměr OK je 35 m a vnitřní průměr 10 m. Tato OK byla uvedena do provozu od září 2008. Před realizací OK bylo v daném místě zaznamenáno až 13 nehod za rok. Po realizaci OK byly na místě v období 2009-2011 zaznamenány celkem 4 nehody. Je zřetelné, že realizace OK výrazně zvýšila bezpečnost na OK, ale nehody zcela nezmizely.



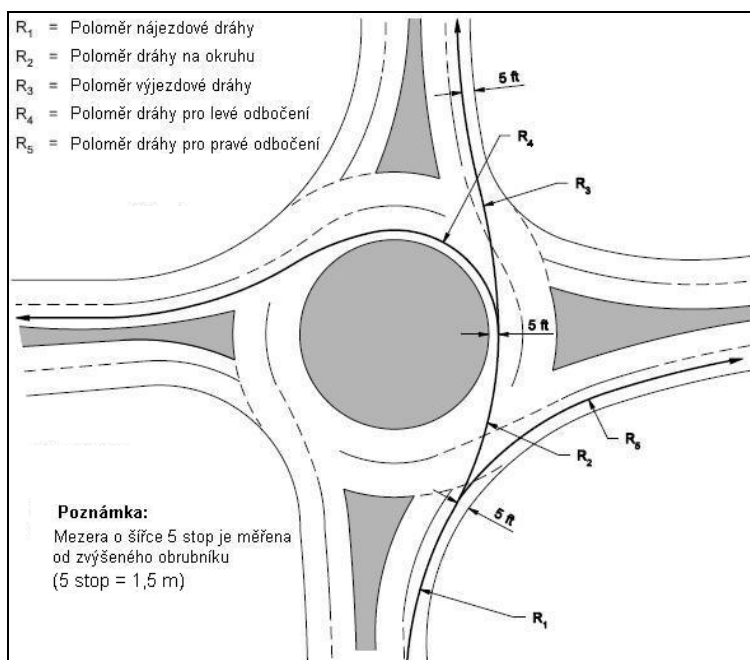
Obr. 1: Pohled na řešenou OK (zdroj: maps.google.com)

3 POPIS ŘEŠENÍ

Posouzení teoretické dynamiky průjezdu

Dynamický průjezd prokazuje porovnáním shody rychlostí v případě nejrychlejší (ideální) dráhy vozidla. Pro tuto potřebu bylo převzato řešení ideální dráhy na OK z [3]. Tato norma definuje pět charakteristických poloměrů na třech základních manévrech na okružní křižovatce.

Okružní křižovatka byla zpracována pomocí CAD softwaru, ve kterém byly stanoveny ideální dráhy průjezdu vozidel ve všech základních manévrech. Tyto poloměry pak byly přepočteny na rychlost průjezdu v jednotlivých charakteristických bodech. Poloměry a velikosti ideálních drah jsou vyznačeny v obr. 3. Přepočet poloměru na rychlost vozidel byl proveden dle [3].



Obr. 2: Poloměry ideálních drah

$$V_i = \sqrt{(127 \cdot R_i \cdot (0,01 \cdot p + f))} \quad (1)$$

kde:

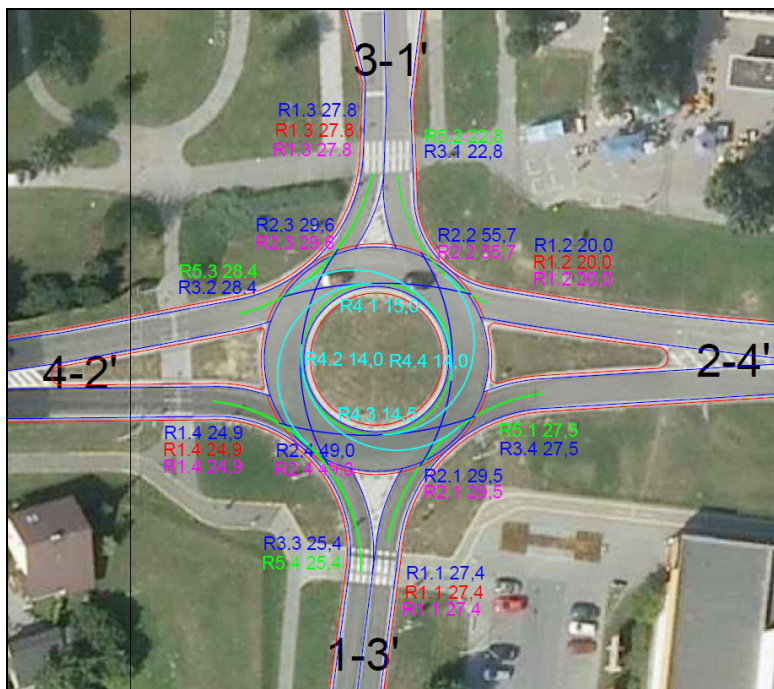
V_i – rychlost v charakteristickém bodě [km/h],

R_i – charakteristický poloměr [m],

p – příčný sklon [%],

f – koeficient příčného tření.

Rychlosti byly vypočítány pro $p = 2,5\%$ a f bylo voleno dle návrhové rychlosti pro OK, kdy pro OK s $D < 50$ m je $f = 0,19$.



Obr. 3: Vyznačené dráhy průjezdu a charakteristické poloměry

Reálná dynamika průjezdu

V tomto případě byly průzkumem in situ měřeny rychlosti vozidel v charakteristických bodech okružní křižovatky (viz obr. 5). Průzkum byl proveden v pondělí 21. 5. 2012 v době od 17:30 do 22:00. Časový interval průzkumu byl volen tak, aby měření neovlivňovala žádná denní špička. Jelikož cílem průzkumu nebylo počítání projíždějících vozidel, ale pouze jejich rychlost při plynulém průjezdu danou křižovatkou (lze považovat za ideální dráhu vozidla). Měření bylo prováděno ručním radarem Bushnell Speedster II.

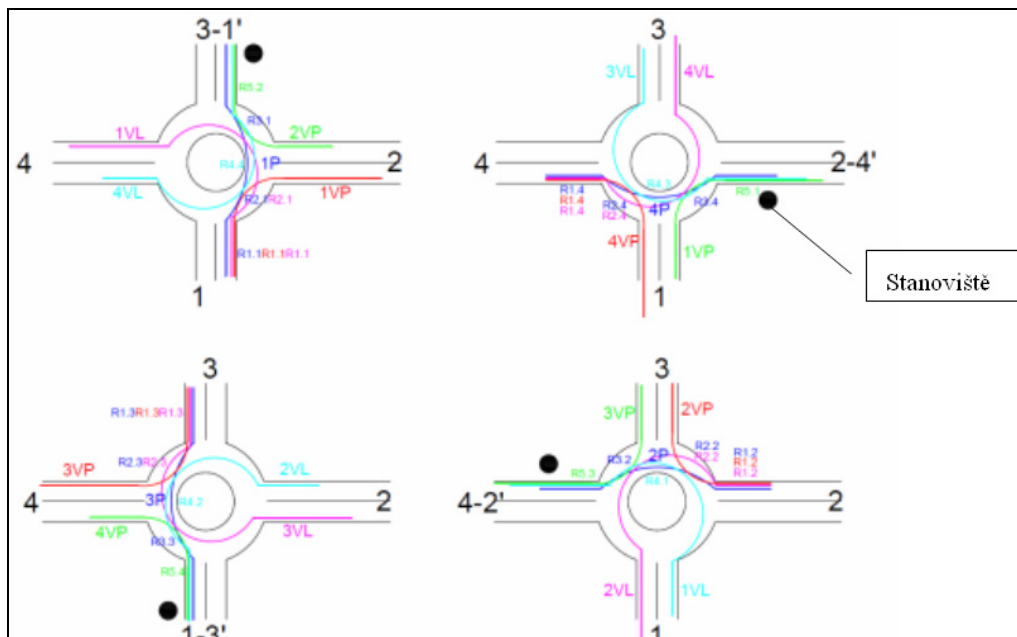
Pro průzkum byla vybrána čtyři základní stanoviště na jednotlivých větvích křižovatek, ze kterých byly odečítány naměřené rychlosti projíždějících vozidel (viz obr. 4). Jednotlivé dráhy byly označeny dle ramena, ze kterého vozidlo vjíždí do křižovatky a dle manévru provádějího na OK:

- VP odbočení vpravo,
- VL odbočení vlevo,
- P jízda přímo.

Dále bylo měření rozlišeno podle konečné dráhy projíždějícího vozidla. U poloměrů R první index je určení charakteristického bodu, viz obr. 2 a druhý index značí, z kterého ramene auto vyjíždělo. Tzn. na stanovišti 4' byly měřeny rychlosti v těchto místech charakteristických poloměrů:

- 4P – $R_{1,4}$, $R_{2,4}$, $R_{3,4}$
- 4VP – $R_{1,4}$, ($R_{5,4}$ - je zjišťován na stanovišti 1')
- 4VL – $R_{1,4}$, $R_{2,4}$, ($R_{4,4}$ - je zjišťován na stanovišti 3')
- 3VL – $R_{4,3}$
- 1VP – $R_{5,1}$

Ve všech měřených směrech se podařilo naměřit dostatečné množství dat pro získání reprezentativního vzorku.



Obr. 4: Vyznačení stanovišť průzkumu a označené průjezdní dráhy



Obr. 5: Stabilizace charakteristických bodů na okružní křižovatce

4 VÝSLEDKY ŘEŠENÍ

Jak již bylo řečeno, dynamický průjezd jak teoretický či skutečný se prokazuje porovnáním shody rychlostí v případě ideální dráhy vozidla. Určující vztahy mezi jednotlivými rychlostmi jsou uvedeny v tabulce 1. Pro zajištění shody musí platit, že rozdíl rychlostí v po sobě jdoucích poloměrech by neměl být vyšší než 20 km/h, nejlépe menší než 10 km/h.

Posouzení teoretické dynamiky průjezdu

Tab. 1: posouzení teoretické dynamiky průjezdu

Směr jízdy vozidla na OK	rychlostní rozdíly Dvt	rameno1	rameno2	rameno3	rameno4
		[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
Přímý směr:	V1-V2	1	16	1	16
	V2-V3	3	11	2	9
Odbočení vpravo:	V1-V5	0	2	0	0
Odbočení vlevo:	V1-V2	1	16	1	10
	V2-V4	8	20	9	17

Z výsledků, viz tabulka 1 vyplývá, že ramena 1 a 3 z hlediska dynamiky průjezdů vyhověla, naproti tomu u ramen 2 a 4 vyhověl pouze směr odbočení vpravo. Zároveň lze konstatovat, že protilehlá ramena jsou konstrukčně řešena obdobně.

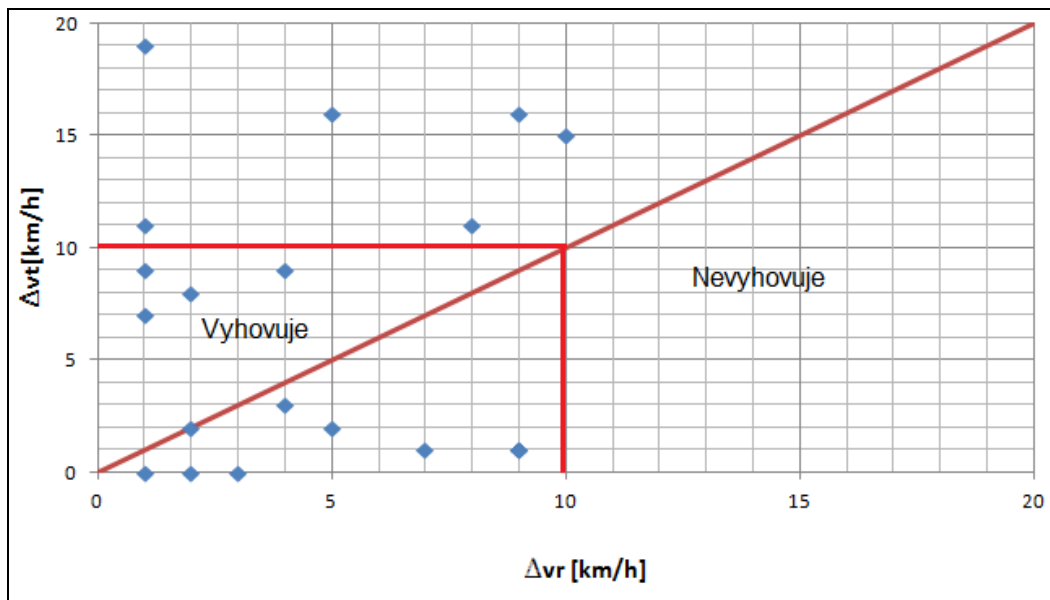
Reálná dynamika průjezdu

Během průzkumu bylo zaznamenáno 544 rychlostí. Pro každé charakteristické místo daného jízdního směru určitého ramena okružní křižovatky byla určena průměrná hodnota rychlosti. Výsledky posouzení reálné dynamiky průjezdu jsou uvedeny v tabulce 2. Podle měření skutečné rychlosti, bylo zjištěno, že z hlediska dynamiky průjezdu okružní křižovatka vyhověla.

Tab. 2: Posouzení reálné dynamiky průjezdu

Směr jízdy vozidla na OK	rychlostní rozdíly Dvr	rameno1	rameno2	rameno3	rameno4
		[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
Přímý směr:	V1-V2	7	10	9	5
	V2-V3	4	1	2	4
Odbočení vpravo:	V1-V5	1	5	2	3
Odbočení vlevo:	V1-V2	9	9	9	8
	V2-V4	2	1	1	1

Společné vyhodnocení reálné a teoretické dynamiky jízdy je znázorněno na obr. 6. Zde jsou vyznačeny limity pro přípustné rychlostní difference. Mimo tyto hranice se nachází 6 teoretických rychlostních rozdílů. Z těchto výsledků vyplývá, že v případě teoretického posouzení má na překročení limitu největší podíl velikost poloměru dráhy na okruhu. Červená křivka charakterizuje ideální stav, tzn. případ, kdy teoretické hodnoty odpovídají reálným hodnotám.



Obr. 6: Zhodnocení reálné a teoretické dynamiky průjezdu

3 ZÁVĚR

Daná okružní křižovatka nevyhověla z hlediska teoretické dynamiky průjezdu, ale vyhověla z hlediska reálné dynamiky průjezdu. Což by v případě, kdy by daná OK byla ve stavu návrhu, znamenalo tento návrh přepracovat, pokud bychom se drželi podmínek dle [3]. Aplikování tohoto postupu do českých standardů se momentálně jeví jako zbytečné, i když v [1] tento postup doporučují. Ovšem je nutné podotknout, že závěry z [1] nejsou vyvozeny z měření in situ. Důvodů, proč teorie neodpovídá skutečnosti, může být několik. Jedním z nich může být skutečnost, že nejrychlejší dráha, kterou si řidiči ve skutečnosti volí, neodpovídá té projektované, jak je uvedeno v [3] (vede po prstenci, nesplňuje požadované odstupy od obrubníků, apod.). Pro vyloučení nebo potvrzení této hypotézy by mělo být v dalším stupni provedeno její ověření.

Dalším důvodem může být zvolený čas měření, kdy nemusel být zcela splněn požadavek na dobu, kdy vozidla vzájemně neovlivňují svůj pohyb. Závěrem lze konstatovat, že ověření návrhu OK z hlediska geometrické průjezdnosti je dostačující.

PODĚKOVÁNÍ

Článek vznikl jako součást řešení výzkum. Projektu MD č. CG911-008-910 Vliv geometrie stavebních prvků na bezpečnost a plynulost provozu na okružních křižovatkách a možnost predikce vzniku dopravních nehod.

LITERATURA

- [1] Seidler, T., Cihlářová, D. a I. Mahdalová. *Porovnání vybraných okružních křižovatek v ČR s USA standardy*. In 12. odborná konference doktorského studia Juniorstav Brno: 24. 2. 2010, VUT – Brno, FAST, 2010, s. 171, ISBN 978-80-214-4042-5, [CD-ROM].
- [2] Mahdalová, I., Seidler, T. a D. Cihlářová. Vliv geometrie okružní křižovatky na její bezpečnost. *Sborník vědeckých prací VŠB-TUO, řada stavební*, číslo 1, ročník X. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010, s. 109-116, ISBN 978-80-284-2332-4, ISSN 1213-1962.
- [3] WSDOT. *Design Manual M 22-01.06*, December 2009, [in english], dostupné z: <<http://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/M22-01/M22-01.06Revision.pdf>>.

- [4] TP 135. *Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích*. Ministerstvo dopravy, 2005.
- [5] ČSN 73 6102. *Projektování křižovatek na pozemních komunikacích*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [6] AASHTO 1994, (American Association of State Highway and Transportation. Officials). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D. C. (USA). 1994.
- [7] DOT 2000, U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. *Roundabouts – An Informational Guide. Publication No. FHWA-RD-00-067*. Washington D. C. (USA). 2000.
- [8] Montella, A. Identifying crash contributory factors at urban roundabouts and using association rules to explore their relationships to different crash types. *Accident Analysis and Prevention*. 2011, 43(2), s.1451-1463. ISSN 0001-4575
- [9] Pandian, S., S. Gokhale & A.K. Ghoshal. An open-terrain line source model coupled with street-canyon effects to forecast carbon monoxide at traffic roundabout. *Science of the total environment*. 2011, 409(6), s.1145-1153. ISSN 0048-9697.
- [10] Daniels, S., T.Brijs, E. Nuyts, & G. Wets. Extended prediction models for crashes at roundabouts. *Safety science*. 2011, 49(2), s. 198-207. ISSN 0925-7535.
- [11] Daniels, S., T.Brijs, E. Nuyts, & G. Wets. Externality of risk and crash severity at roundabouts. *Accident Analysis and Prevention*. 2010, 42(6), s. 1966-1973. ISSN 0001-4575.
- [12] Mazzella, A., C. Piras, & F.Pinna. Use of Kriging Technique to Study Roundabout Performance. *Transportation Research Record*. 2011, číslo 2241, s. 78-86. ISSN 0361-1981.
- [13] Sacchi, E., M. Bassani, & B.Persaud. Comparison of Safety Performance Models for Urban Roundabouts in Italy and Other Countries. *Transportation Research Record*. 2011, číslo 2265, s. 253-259. ISSN 0361-1981.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Michal Radimský, Ph.D., Ústav pozemních komunikací, Fakulta stavební, VUT v Brně.

Ing. Michal Uhlík, Ph.D., Katedra silničních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze.